

ОЦЕНКА УРОВНЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ И РЕПАРАЦИИ ЯДЕРНОЙ ДНК У ГРЕБЕШКА ПРИМОРСКОГО (*MIZUHOPECTEN YESSOENSIS*) В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА КИСЛОРОДА

В. В. Слободскова^{1,2}, Ю. И. Фадеева³, С. П. Кукла¹

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, РФ, slobodskova@list.ru

²Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, РФ

³Институт биологии моря им. Жирмунского Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, РФ

При помощи кометного анализа проведена оценка аноксия-индуцированных повреждений молекулы ДНК клеток жабр и пищеварительной железы гребешка приморского. Установлено, что дефицит кислорода в среде обитания вызывает повреждения в структуре молекулы ДНК. После помещения моллюсков в естественную среду (нормоксия) ДНК достаточно хорошо восстанавливается.

Ключевые слова: *Mizuhopecten yessoensis*, генотоксичность, деструкция ДНК, дефицит кислорода, реоксигенация

Следствием воздействия низких концентраций кислорода (гипоксии/аноксии) в морской среде является изменение поведенческих, физиологических и метаболических реакций гидробионтов. Характер ответной реакции организмов на действие гипоксии/аноксии зависит от его интенсивности и продолжительности.

Известно, что гребешок приморский является стенооксифильным организмом, очень чувствительным к дефициту кислорода: даже незначительное снижение концентрации растворенного кислорода в среде вызывает гибель 80-85% молоди [1]. В качестве биомаркера гипоксии в морской среде может быть использовано изменение структуры молекулы ДНК гребешка. Условия экспериментальной аноксии созданы нами путем выдерживания моллюсков на воздухе в течение 8 ч при относительной влажности 75-80% и температуре $17 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Последующую нормоксию/реоксигенацию проводили 24 ч в аквариумах из расчета 10 л морской воды на одного моллюска при температуре $16 \pm 0,5^\circ\text{C}$, насыщенности кислородом 84% и с постоянной аэрацией.

В ходе эксперимента установлено, что воздействие гипоксии/аноксии вызвало увеличение количества повреждений молекулы ДНК клеток жабр и пищеварительной железы гребешков, по сравнению с контрольными моллюсками (рис. 1, 2), но после реоксигенации ДНК достаточно хорошо восстановилась (рис. 1, 2). При этом параметры ДНК комет у контрольных моллюсков и у особей после реоксигенации практически не отличались или отличались незначительно. Наблюдаемое увеличение ДНК повреждений при дефиците кислорода, скорее всего, связано с тем, что в период аноксии моллюски испытывали окислительный стресс [5] и происходило подавление системы репарации молекул ДНК. Восстановление структуры ДНК при реоксигенации практически до контрольного уровня происходит за счет значительных изменений в системе репарации, подавление которой во время аноксии привело к накоплению ДНК повреждений.

Следовательно, длительное воздействие аноксии негативно сказывается на организме *M. yessoensis*. По изменению в сторону увеличения количества повреждений молекулы ДНК жабр и пищеварительной железы можно судить о пребывании *M. yessoensis* в стрессовом состоянии. Похожие данные, полученные другими исследователями на рыбах, амфиподах и моллюсках, показывают, что в период кислородного

голодания у гидробионтов происходят значительные изменения в биохимической системе [2, 3, 4].

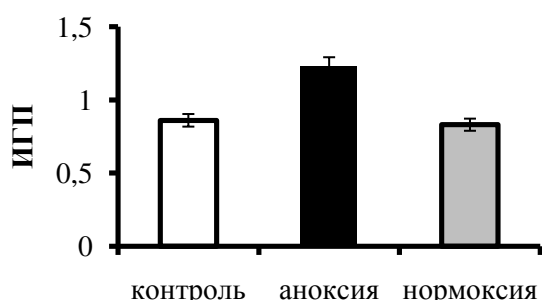


Рис. 1 Индекс генетического повреждения (ИГП) ДНК клеток жабр *M. yessoensis* под действием аноксии и нормоксии

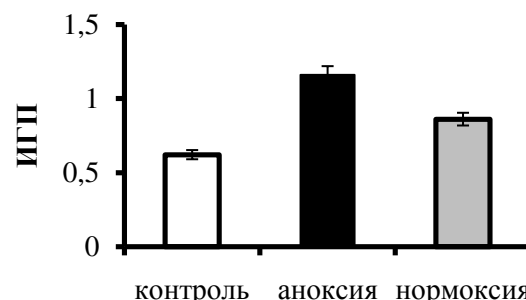


Рис. 2 Индекс генетического повреждения (ИГП) ДНК клеток пищеварительной железы *M. yessoensis* под действием аноксии и нормоксии

Таким образом, колебание концентраций кислорода в среде действительно является одним из важнейших абиотических факторов для морских организмов. Генотоксичность аноксии зависит от времени отсутствия кислорода в среде. При этом, если не нарушается баланс между уровнем повреждения ДНК и эффективностью системы репарации ДНК, необратимых токсических эффектов не появится.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-04-06526 А.

1. Береговая Н. М. Влияние гипоксии на химический состав и элементы углеводного обмена некоторых гидробионтов-обрастателей // Экология моря. 2002. Вып. 60. С. 16–20.
2. Liepelt A., Karbe L., Westendorf J. Induction of DNA strand breaks in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* under hypoxic and hyperoxic conditions // Aquat. Toxicol. 1995. Vol. 33. P. 177–181.
3. Gorokhova, E., Lof, M., Halldorsson, H.P., Tjarnlund, U., Lindstrom, M., Elfving, T., Sundelin, B. Single and combined effects of hypoxia and contaminated sediments on the amphipod *Monoporeia affinis* in laboratory toxicity bioassays based on multiple biomarkers // Aquat. Toxicol. 2010. Vol. 99. P. 263–274.
4. Almeida E.A., Baini A.C.D., Dafre A.L., Gomes O.F., Medeiros M.H.G., Di Mascio P., Oxidative stress in digestive gland and gill of the brown mussel (*Perna perna*) exposed to air and re-submersed. // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2005. Vol. 318. P. 21–30.
5. Истомина А.А., Довженко Н.В., Челомин В.П. Реакция антиоксидантной системы на аноксию и реоксигенацию у морского двустворчатого моллюска *Scapharca broughtoni* // Вестник МГОУ. 2010. Вып. 4. С. 39–41.

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF DNA DAMAGE AND REPAIR OF THE SCALLOPS (*MIZUHOPECTEN YESSOENSIS*) UNDER HIPOXIC CONDITIONS

V. V. Slobodskova^{1,2}, Y. I. Fadeeva³, S. P. Kukla¹

¹Il'ichev Pacific Oceanological Institute of Far Eastern Branch, RAS, Vladivostok, RF, slobodskova@list.ru

²Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, RF

³Zhirmunsky Institute of Marine Biology of Far Eastern Branch, RAS Vladivostok, RF

Anoxia-induced DNA damage in the gill cells of the marine scallop *Mizuhopecten yessoensis* was assessed with the comet assay (single-cell gel electrophoresis). The resulting data demonstrate that natural influences, such as oxygen depletion (anoxia) in seawater, can be responsible for the induction of DNA damage. If the scallops were re-immersed in oxic conditions, the anoxically induced breaks were repaired. The main mechanisms influencing the integrity of the DNA structure are discussed.

Keywords: *Mizuhopecten yessoensis*, genotoxicity, DNA destruction, hypoxic conditions, reimmersion